

多軸操舵型車両の斜面移動における 操舵角と車輪回転量の同時最適化

60200099 樋口止揚

2019 年 11 月 6 日

1 移動モデル

1.1 なぜ今まで直線近似が行われていたのですか？

微小な時間間隔であれば，直線近似でも近似誤差が少なくなりモデル自体も簡単なため，いままでは，直線近似が使われていたと考えられます．

1.2 対向二輪モデルを前後で二つ組み合わせた感じですが，その際にモデルへの影響はありますか？

特に影響はないと考えております．対向二輪型の移動体が前後にある状態に，車体長の制約条件や拘束条件などを用いて前後をつないでいる形になってます．そのため，前後の車輪の動きは制約条件を満たす範囲では自由に動くことのできるモデルとなっており，制約条件を入れることによって，実際の車体の動きを再現できるモデルになると考えています．そのため，特に悪い影響はないと考えられます．

1.3 旋回モデルと直線近似モデルでは誤差はどのくらいですか？

近似誤差の量は，最適化のステップ時間の間隔や，移動の仕方などによりますので一概に言えませんが，おおよそ 10^{-6} ほどのレベルです．しかし旋回モデルと比べると少なからず誤差が生じます．

2 制御モデル

2.1 車体全体の運動方程式の導出はなぜ困難なのでしょうか？

全体の運動方程式の定式化は今後取り組むべき内容と考えていますが，車体全体の運動方程式は機構の複雑さなどに加え，車体重心が浮いている状態にあるフローティングベースでの運動方程式の定式化が困難であることや，そのフローティングベースの状態での車輪と地面の拘束条件の定式化が困難であり，動特性考慮の 1 ステップ目として，比較的導出が簡単である車輪のみに着目した運動方程式の定式化を行いました．

2.2 制御の目標値は何ですか？

制御の目標値は、最適化から算出された車輪回転量を用いて制御を行っていく予定です。

2.3 車輪以外の運動方程式を考慮しないのはどのような影響があるのでしょうか？

車輪以外の動特性を考慮しない場合は、考慮した場合に比べ、厳密な動力学解析はできません。そのため、影響としまして、車輪の運動は車体の慣性等を考慮されない運動になってしまうことがあります。

2.4 拘束条件を作る理由は何ですか？

車体の4つの車輪は、運動方程式の上ではそれぞれ自由に動くことのできるものですが、実際の車体は車輪幅や車体長が一定であることや、車輪の移動方向が決まっていることなどを拘束条件式として運動方程式に組み込むことで、車体の運動を表現することができます。

2.5 車輪の運動方程式に操舵角の項がないのはどうしてでしょうか？

運動方程式に操舵角などの項が含まれていないのは、今回は、車輪のみ動特性を考慮していることと、その時に操舵角は受動的に動作すると考える、車輪の位置などから車体姿勢は算出されるため、運動方程式に組み込む必要はありません。しかしながら今後、車体全体の運動方程式を構築する場合には操舵角の項は必要となると思います。

2.6 制御量を増やすとさらにうれしいことはありますか？

現在は制御量を増やすことは考えていませんが、もし何か増やすことができれば、より良い運動解析ができるかもしれません。

3 シミュレーション

3.1 シミュレーションの結果の良悪の判断基準はどのように考えられていますか？

移動のアニメーションや、最適化変数の変移などから、現実的な数値が出ているかなどを判断して良悪を判断しています。

3.2 シミュレーションは2次元でしたが、3次元でも同じような結果が得られますか？

発表中にお見せした図では、横から見た図なので2次元のように見えてましたが、実際は3次元のシミュレーションです。

3.3 計算時間はおおよそどのくらいかかりますか？

シミュレーション時間はおおよそ，2～7 時間ほどです．

4 その他

4.1 内力の話が分からなかったので教えてください

車体にかかる重力の合力 \mathbf{F}_r ，合モーメント \mathbf{N}_r と接触力 \mathbf{F}_c が釣り合うということから以下のつり合いの式が成り立ちます．

$$\mathbf{F}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{F}_r \\ \mathbf{N}_r \end{bmatrix} = \mathbf{B}_c \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{F}_{F_l} \\ \mathbf{F}_{F_r} \\ \mathbf{F}_{R_l} \\ \mathbf{F}_{R_r} \end{bmatrix}}_{\mathbf{F}_c} \quad (1)$$

上式を満たす接触力は，

$$\mathbf{F}_c = \mathbf{B}_c^+ \mathbf{F}_0 + \mathbf{K}_{B_c} \mathbf{F}_N \quad (2)$$

で与えられる． \mathbf{B}_c^+ は $\mathbf{B}_c \in \mathbb{R}^{6 \times 12}$ の擬似逆行列， \mathbf{K}_{B_c} はその各列が \mathbf{B}_c の零化空間を張る行列である ($\mathbf{B}_c \mathbf{K}_{B_c} = \mathbf{0}$)． \mathbf{F}_N は式の解の自由度を表しており，外力との釣り合いに寄与しない内力の成分を表している．以前まではこの内力項は無視し力のつり合いを考えていた．しかし，内力を考慮したモデルでないと，接触力は車体の接触点のみに依存してしまう．そこで内力項を考える．

今回は，4 車輪がそれぞれ地面や壁に接触しているため，合計で 4 点の接触点があります．その 4 点の接触点の間には本来相互に作用しあう力内力が存在します．4 点間の内力を示した図が以下のような図です．内力は，接触点間軸内では双方から同じ力を受けつり合いを保つ．そのため，上

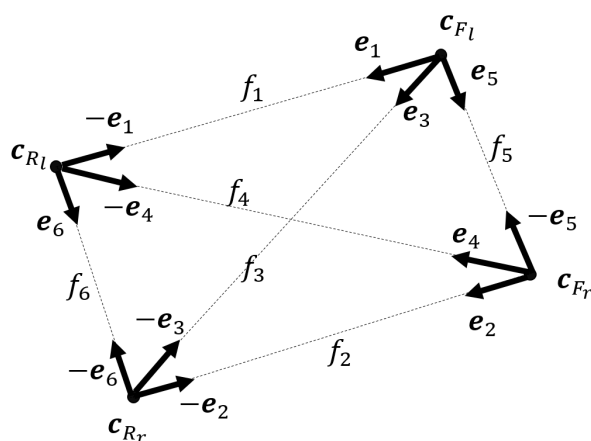


図1 内力図

記の単位ベクトルと接触点間に働く力の大きさ f_i を用いて、内力項 $\mathbf{K}_{B_c} \mathbf{F}_N$ は、

$$\underbrace{\begin{bmatrix} e_1 & o & e_3 & o & e_5 & o \\ o & e_2 & o & e_4 & -e_5 & o \\ -e_1 & o & o & -e_4 & o & e_6 \\ o & -e_2 & -e_3 & o & o & -e_6 \end{bmatrix}}_{\mathbf{K}_{B_c}} \underbrace{\begin{bmatrix} f1 \\ f2 \\ f3 \\ f4 \\ f5 \\ f6 \end{bmatrix}}_{\mathbf{F}_N} \quad (3)$$

と表される．この \mathbf{K}_{B_c} は $\mathbf{B}_c \mathbf{K}_{B_c} = \mathbf{0}$ を満たす零化空間を張る行列であることは確認済みである．これにより、図のような内力を表現することができる．ここで、発表中にあった、「 $\mathbf{K}_{B_c} \mathbf{F}_N$ と \mathbf{F}_N の違いは何ですか？」という問いの答えは、 \mathbf{F}_N は内力の各成分の大きさのみを表しており、 $\mathbf{K}_{B_c} \mathbf{F}_N$ は方向も加味した実際の内力のベクトルを表している．

4.2 斜面を下る動作は考慮されているのでしょうか？

斜面行列において、斜面角 θ の範囲は、 $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ と考えています．そのため、斜面を下る場合も対応できるモデルとなっています．

4.3 今後の車輪の乗り越え時に難しいと考えている部分はどこでしょうか？

乗り越え時の角上の運動では、車輪中心から見た接触点位置が一定ではないため接触力の作用点が変わってしまうことが難しい部分と考えております．